ChinaXiv合作期刊

现阶段 4K UHD 系统建设特点的探讨

摘　要：本文围绕 4K UHD 系统的规划建设，分析了从以 SDI 为核心走向 IP 网络化的应用特点和发展趋势，探讨了现阶段 4K UHD 系统 IP 化实践技术要素，梳理总结了系统架构、PTP 同步、信号流传输等技术变化。

关键词：4K UHD；IP 化；系统架构；PTP 同步；信号流传输
中图分类号：G229.24　　文献标识码：A
文章编号：1671-0134（2019）03-124-03　　DOI：10.19483/j.cnki.11-4653/n.2019.03.035

文 / 李莉华

chinaXiv:202310.01613v1

2015 年，中国第一辆 4K 电视转播车建成投用，依靠 4 根 3G 线的模式拉开了从 HD 向 UHD 迈进的大幕，此后，4K UHD 应用实践逐步从转播、演播推进到试验频道开播。随着技术体系的发展更新，4K UHD 系统规划建设出现了新的特点，有待在实践中学习和探讨。

1. 基础核心从 SDI 走向 IP 化

当前的 4K UHD 系统实践，大多集中在演播、直播系统，分为两种建设思路：一种是延续传统的 SDI 基带模式，从 HD 与 UHD 并存或同播需求出发，包括 4K UHD + HD、4K UHD 变换 HD 等。4K UHD + HD 架构，核心设备如切换台各自独立，适合 4K-HDR / HD-SDR 同播制作流程，但系统相对冗余且布线量巨大；4K UHD 变换 HD 架构，系统实质工作在 HD 状态下，如切换台字幕叠加、摄像机调整等均处于 HD 设置，在面对 4K UHD 应用时通过格式变换和 HDR 监看设备完成处理，适合以 HD 运用为主、极少 UHD 需求的场景；另一种是引入 IP 化模式，从安播需求和技术实际出发，现阶段是以 IP 为主体、SDI/IP 混合工作，包括 4K UHD IP 下变换 HD、4K UHD IP + HD SDI 等。4K UHD IP 下变换 HD 架构，系统工作在 4K UHD 状态下，信号源统一转换为 4K UHD IP 进入交换机，生产制作和信号调度均采用 IP 方式完成，HD 应用需求通过末端下变换实现，因此，SDI 在系统内占比明显缩减，如承担 HD 端信号监看与调度、作为应急处置设备等，适合输入源和节目输出多为 4K UHD 的情况；4K UHD IP+HD SDI 架构，4K UHD IP 和 HD SDI 均为独立、完整的链路，虽然建设预算相对较高，但便于发挥 IP 的先进技术和 SDI 的熟悉优势，并完全适应 HD、UHD 并存时期的各类应用需求。

SDI 模式，系统架构能够方便地从 HD 时代平滑升级，保持熟悉的操作模式和工作流程，并具备与 HD 系统相近似的稳定性和可维护性，但由于基于 4 根 3G 线或者 1 根 12G 线传输 4K UHD 信号，系统能力和扩展性、可持续性受制于专业线缆能力的提升、接插件的损耗控制以及价格因素，难以满足 UHD 系统未来体系化建设和业务扩展的需求，目前，多被市场化运营、着重快速生产的制作公司和更看重 HD 需求保障的项目选用。IP 模式，从已建成运行的 4K UHD 系统来看，主要通过 IP 接口置换 SDI 接口实现 IP 化，采用 J2K、LLVC、TICO、VC2 等浅压缩方式实现 4K UHD 编码，通过 SDI OVER IP 完成 IP 化封装与传输，虽然整体的 IP 化程度还比较低，周边和 HD 视频、音频、通话等或多或少还需要 IP/SDI 格式转换等传统方式接入，但已经逐步具备 IP 化节省设备空间、降低布线成本、路由灵活、扩展便捷等特点，目前，在 4K UHD 演播、直播系统建设中日趋广泛，并成为 4K UHD 总控调度、异地制作传输等系统规划的首选。

2. IP 化是循序渐进的系统工程

从业界发展的主流来看，EBU、SMPTE、VSF、AMWA、AIMS 等组织提出了开放互通的媒体网络发展路线图，从 SDI 起步，以 SDI OVER IP 为基础，着力推进媒体流实时传输的标准化、灵活性和高效率，逐步改变管理、处理和传输方式，创建全新的利用 IT 协议和设备的各种应用，支持规模化的系统级资源自动管理与设置，实现充分的协同、互作和连通，最终具备通用 IP 网络安全、开放的技术特点，适应并发挥虚拟化、云化等技术优势。现阶段，4K UHD 系统的 IP 化还处于较为初级的阶段，IP 化实践还在不断的深化与发展中。

2.1 系统架构

传统的 4K UHD 系统架构，通常从链路设计的角度出发，围绕核心设备完成工作流程各环节的配置，除了核心设备负责信号处理与路由分配等，基本不涉及系统化管理，仅着力于链路状态的运维与监控；引入 IP 模式的 4K UHD 系统，既要实现 IP 网络的可管可控，又要有效运用长期共存的 SDI 等传统专业设备，还需要构建完整有效的媒体实时处理、传输体系，系统的、全面的综合管理和控制变得尤为重要，因此，借鉴 IP 网络分层思维和 SDN（软件定义网络）方式，分离控制与数据、业务，将系统架构划分为管理控制、数据交互和业务应用部分，从应用需求出发规划配置数据处理能力和系统管控能力（图 1）。

chinaXiv:202310.01613v1

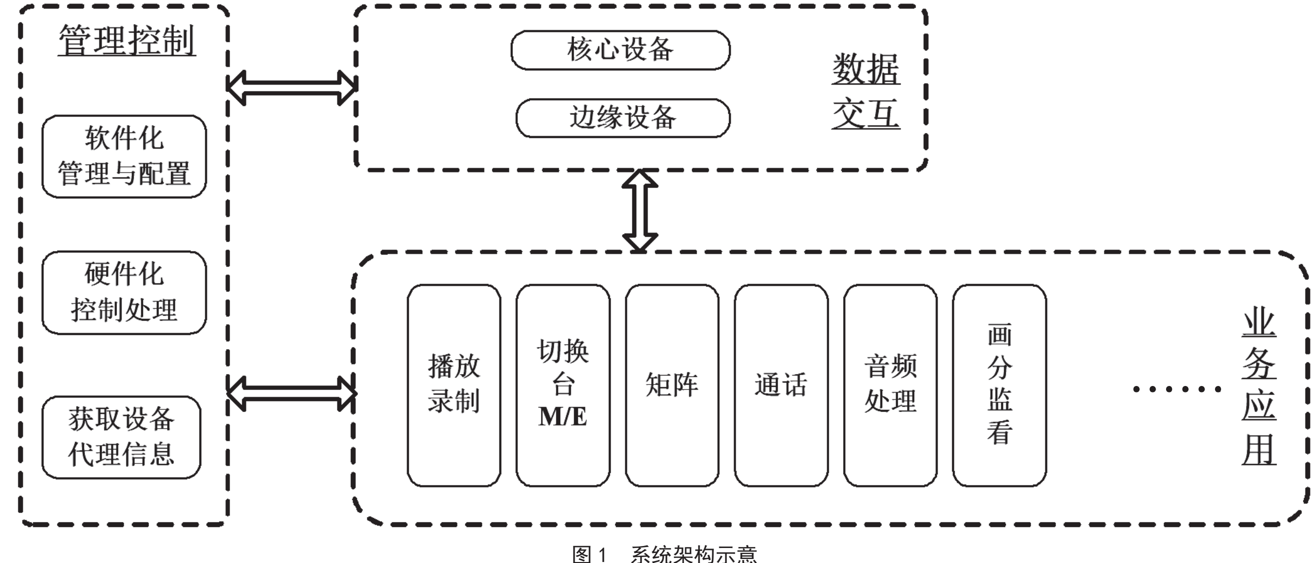


图 1　系统架构示意

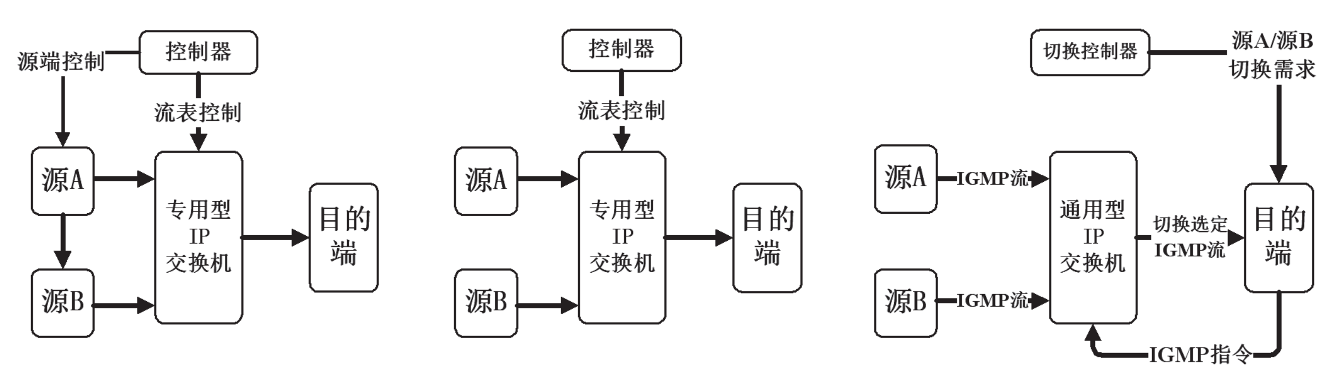


图 2　三种 IP 视频净切换实现方式

业务应用部分，涵盖系统链路的各个业务环节，如录制、调度、切换、播放、监看、通话、音频处理等，包含传统专业设备和 IP 化设备，按具体的业务类型适配不同的品牌和型号。管理控制部分，面向数据交互与业务应用实现集中管控，需要提供设备发现与配置、信号连接与路由管理、IP 统一管理、设备资源统一管理、用户及权限统一管理、统一监测与维护等功能，还能够行使一定的代理管理与服务能力，如实现交换机策略管理与下发、矩阵控制、音视频联动切换、TALLY 与动态源名跟随等。从实现机制上通常包含三个层面：顶层是 SDN 软件化的管理与配置，提供设置、管理、操作的界面；中间层提供协议转换与接口服务，具备硬件化的控制处理能力；底层获取系统设备对外开放的相关代理管控信息。

数据交互部分负责控制数据和业务数据的流通，它的核心是交换机。为满足 4K UHD 系统媒体流实时处理的要求，需要在保障带宽的前提下支持 IP 视频净切换、有效控制 IP 网络延时等。实现 IP 视频净切换的方式有源切换、交换机切换和目的地切换，前两者需要依靠专用交换机，涉及源端控制、流表控制等，后者简化对交换机的要求，基于 IGMP（互联网组管理协议）组播指令和目的地帧重复或短暂双流实现切换（图 2）。为了扩大交换设备的可选性并确保成熟度，目前，倾向于采用第三种切换方式以便于选择通用型交换机。值得注意的是，4K UHD 系统从实时处理、传输的角度应当在带宽保障方面实现无阻塞，交换设备需要基于数据流的大小配置，如交换的核心设备与边缘设备采用叶脊结构时，主干脊交换机和叶级交换机之间的总带宽必须大于或等于叶级交换机和连接终端之间的总带宽，也就是必须全面评估应用设备整体的信号流量。

2.2 PTP 同步

为确保在自身异步的网络中正常运行业务，常常需要网络设备间保持时钟同步。4K UHD 系统通过 IP 网络实时处理与传输专业媒体流，更离不开高精度的网络时间传输协议作为支撑。PTP（精确时间协议）通过硬件方式能够在网络环境中达到亚微秒级精度，它通过静态指定配置或者 Best Master Clock 算法动态确定 Grandmaster 时钟，作为应用 PTP 协议网络的时钟源，为域内的所有设备时间提供同步参考。网络中的设备从时钟节点的角度，通过 PTP 端口或为从上游同步时间的从（slave）状态，或为向下游发布时间的主（master）状态，或只是在端口间转发 PTP 协议报文并进行转发延时校正的“透明时钟”

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:202310.01613v1

状态。在网络对称（主从之间两个传输方向上的延时相同）的前提下，主时钟和从时钟交互同步报文并记录报文收发时间，计算主从时钟之间的平均传送时间（延时）和从时钟相对主时钟的偏移，调整从时钟的本地时间从而实现主从时钟同步。在系统实际运行中，若测量发现平均传送时间变化过大，可能是由交换机排队滞留、网络路径改变等引起了不对称的网络延时，应查找引发因素并采取相应的调整措施。

按照不同的应用目的，PTP 在 IEEE 1588 标准的基础上具体遵循 ST2059、AES67 等协议要求，它既能够提供基本频率和相位为 IP 化的实时制作、传输等流程服务，如参考 PTP 时期起点 1970 年 1 月 1 日 00:00:00（TAI）确定任意时间的视频相位，也能够通过测量 BB（Black Burst）/ 三电平（Tri Sync）与 PTP 时钟之间的关系，确保 IP/SDI 混合工作流程中 SDI 和 IP 视频之间的一致性，目前已经成为 4K UHD 系统同步的基础。

2.3 信号流传输

采用 ST2022 框架下的 SDI OVER IP 方式，是对视音频及辅助数据的 SDI 形式添加 IP、UDP、RTP、HBRMT 等包头打包，保持了视频、音频和辅助数据同步，也支持嵌入音频。由于缺乏视音频等的单独路由，在 4K UHD 演播、直播流程处理和后期制作等环节面临繁琐的打开到像素级和重新打包过程。为了简化制作处理的工作量，并为深化 IT 协议和设备应用打下基础，符合 ST2110 标准的 4K IP 流正在成为 4K UHD 信号封装和调度的标准。

在 ST2110 的标准下，视频、音频和元数据基于 RTP 流分别传输，通过公共参考时钟、设备内部时钟、媒体时钟、RTP 时钟和 RTP 时间戳实现系统时序和同步。公共参考时钟 PTP 通过相应协议在网络中分发，网络中的收发设备从其内部时钟生成媒体时钟并与收到的公共参考时钟对齐以便共享时期。媒体时钟按照固定速率前进，这个固定速率与帧速率或媒体采样率同步，如视频设备是 90 kHz，音频设备与所支持的 PCM 数字音频采样速率相同，可以是 48 kHz、96 kHz 和 44.1 kHz。RTP（流）时钟采用与对应媒体时钟同样的固定速率前进，并保持与媒体时钟的 0 偏移。RTP 时间戳依据 RTP 流数据类型通过特定方式生成，能够反映场景捕捉瞬间、信号对准点等，并结合 RTP 时钟产生持续变化，是 RTP 流再生和同步的基础。

视频方面，由于 ST2110 仅发送视频的有效部分，相比 ST2022–6 能够显著节约传输带宽，有利于 IP 网络传送。它基本与分辨率无关（最大支持 32767 × 32767），因此也并不局限于 UHD 应用，在设备适配时有利于简化 HD 和 UHD 并存系统的设计。要注意的是，在 2110 标准框架下，设备在发送视频 RTP 流时存在着多种时序类型，如窄发送（N 型）、窄线性发送（NL 型）和宽发送（W 型），而接收 RTP 流的设备同样分为窄同步接收（N 型）、宽同步接收（W 型）和异步接收（A 型）等时序类型，只有 A 型的设备能够正常接收来自 N、NL、W 型发送时序的信号，其他的 N 型和 W 型接收设备只能在一定条件下接收来自不同时序类型的信号，这意味着在现阶段规划建设 4K UHD 系统时，即使上下游设备（特别是不同品牌型号间）均表示其提供的是符合 ST2110 标准的 IP 流，也应当了解可能由于时序类型的不匹配或是匹配条件的改变而影响信号的正常收发。

音频方面，ST2110 目前支持 PCM 数字音频的 IP 网络传输，暂未实现数字压缩音频的传送，也还不能处理如 Dolby Atmos 中的对象音频。它规定了 A、AX、B、BX、C、CX 这 6 个级别，其中 A 级是强制级别，支持 48 kHz 采样、1–8 通道数、1 ms 包时间，B 级和 C 级等扩展级别则指定了更短的包时间如 125us 来减少延迟，更高的通道数如 64 来适应 MADI 连接的需要。虽然 ST2110 与 AES67 在同步、流传输、数据包设置等操作原理和强制要求上一致，但不是无条件的兼容互换，支持 AES67 协议的设备必须增加对流和时钟的一些强制性约束后才能符合 ST 2110 标准，如设备只能处于 PTP 从状态，RTP 时间戳相对于媒体时钟的恒定偏移值只能为 0 等。而从当前基于 IP 的音频应用来看，由于常用的 LiveWire+、RAVENNA、DANTE 等 AOIP 协议仅在音频传输范畴归入了 AES67 协议框架，在控制管理上大都还自成体系，因此符合 AOIP、AES67、ST2110 协议的音频流和模拟、数字音频将在近段时期内在系统中共存，通过接口设备、交换设备在集中管控下实现统一的转换和交互。

3. IP 化只是手段不是目标

4K UHD 系统倾向于利用 IP 技术建设，是希望利用 IP 网络低成本、大容量、传输远、高安全性、高扩展性等工业化、标准化体系优势，为 4K、8K 和三维声、全景声等更高质量、更优体验的视音频实时制作、处理、传播创造良好的技术环境。这个目标不可能一蹴而就，既需要 IP 网络设备能力及容量的稳步提高、相适应标准协议集的成熟完备和适用产品的大批量落地，更需要传统媒体技术人员不断地充实自身，认识和掌握更全面、更广泛的知识，为专业化传媒网络的发展壮大保驾护航。媒

参考文献

[1] 宋宜纯 .UHD/4K 电视网络制播技术 [C].

[2] 杜百川 . 采用 HDR 要升级电视系统 [C].

[3]SMPTE ST2110–（10/20/21/30）：2017[S].

（作者单位：重庆广播电视集团（总台））